Aus der Mund-, Zahn- und Kieferklinik der Universität Bonn.
Direktor: Prof. Dr. Proell.

Röntgenographische Untersuchungen am Dentin des Ratten- und Menschenzahnes

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung des zahnärtzlichen Doktorgrades

der Hohen Medizinischen Fakultät

der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn.

Vorgelegt am 5. Oktober 1939

von

Peter Josef Antweiler
Zahnarzt
aus Bonn.

Bonn 1939.
Anton Brand, Bonn.

Gedruckt
mit Genehmigung der mediz. Fakultät
der Univ. Bonn.

Referent: Prof. Dr. Proell.
Korreferent: Prof. Dr. von. Stackelberg
naturw.-math. Fak. Bonn.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Inhaltsverzeichnis

A Allgemeiner Teil

I. Die Übereinstimmung zwischen dem anorganischen Teil des Dentins und dem Apatit.
   1) Das Polarisationsoptische Bild des Apatits.
   2) Aufbau des Apatitkristalls.

II. Die Röntgenographische Methode.

III. Ziel der eigenen Untersuchungen.

B Experimenteller Teil

I. Das Zahnmaterial.

II. Die Drehuntersuchung mit der 360 mm Rundkamera.

III. Die Untersuchung mit der Spezialkamera.
   1) Die Spezialkamera.
   2) Einzeluntersuchungen an Ratten- und Menschenzähnen.
   a) Ratte, Präparat I (senkrecht)
   b) „ „ II (senkrecht)
   c) Mensch „ I (senkrecht)
   d) „ „ II (waagerecht)
   f) „ „ III (senkrecht)

IV. Die Zuordnung der Linien und Auswertung der Röntgenogramme.

D Zusammenfassung der Prüfungsergebnisse.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546406_0044

Allgemeiner Teil.

Zu Beginn des 19. Jahrhundert kannte die Naturwissenschaft noch einen scharfen Unterschied zwischen der „anorganischen“ und „organischen“ Erscheinungsform der Materie. Als aber im Jahre 1828 der Chemiker Friedr. Wöhler durch die anorganische Synthese des organischen Harnstoffes den Übergang zwischen beiden Welten schuf und zeigte, daß zwischen den anorganischen und organischen Verbindungen kein prinzipieller Unterschied besteht, war man eher geneigt, den Harnstoff aus der Reihe der organischen Verbindungen zu streichen, als einen kontinuierlichen Übergang zwischen anorganischem und organischem Geschehen anzunehmen. Erst später, als durch eine Reihe von weiteren Untersuchungen die Wöhlersche Auffassnng bestätigt wurde, erkannte man allgemein die prinzipielle Gleichheit des „Anorganischen“ mit dem „Organischen“ an.

In ähnlicher Weise schien zuerst die Existenz kristalliner Materie im lebenden Organismus unwahrscheinlich zu sein. Man glaubte von einer ganzen Reihe einwandfrei kristalliner Stoffe — es sei erinnert an den Schulp des Tintenfisches, an die Schale des Hühnereies aus Kalkspat und die Perlmutterschicht der Nautilusschale aus Aragonit — daß sie Abscheidungsprodukte des Organismus seien.

Aber es zeigte sich dann doch, daß auch lebenswichtige, arbeitende Organe aus Kristallen aufgebaut sind bezw. eine kristalline Orientierung zeigen. Bei den höher organisierten Lebewesen sind dies vor allem die Knochen und Zähne.

Die Übereinstimmung zwischen dem anorganischen Teil des Dentins und dem mineralischen Apatits.

Vergleicht man die chemische Analyse des anorganischen Bausteines der Zähne mit der des mineralischen Apatits, so findet man eine weitestgehende Übereinstimmung. Der erste,

der den Nachweis der Übereinstimmung des Dentins mit dem Apatit auf Anregung von Fr. W. Proell durch polarisationsoptische Untersuchungen erbrachte, war R. Gross in Greifswald [1]) in einer Arbeit über „Die kristalline Struktur von Dentin im Zahnschmelz." R. Gross stellte aber noch nicht die Richtung fest, in der die Kristalle des Apatits im Zahn gelagert sind; ein Nachweis hierüber wurde erst auf polarisationsoptischem Wege durch die Arbeit von Fr. W. Proell und G. Dietl in Bonn [2]) erbracht.

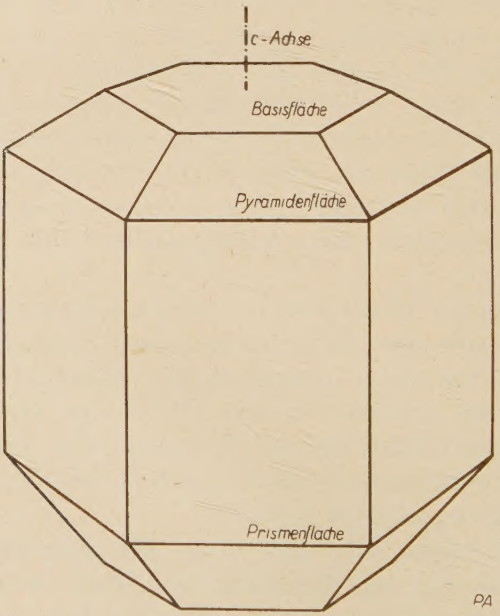


Abbildung 1. Schema eines Apatitkristalls.

[1]) R. Gross. Die kristalline Struktur von Dentin und Zahnschmelz. Festschrift des Greifswalder Zahnärztlichen Institutes. Berlin 1926 Verlag Hermann Meußer.

[2]) F. W. Proell und G. Dietl. „Polarisationsoptische Untersuchungen der Hartsubstanzen gesunder und kranker Zähne." Deutsche Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde 1938 81—84.

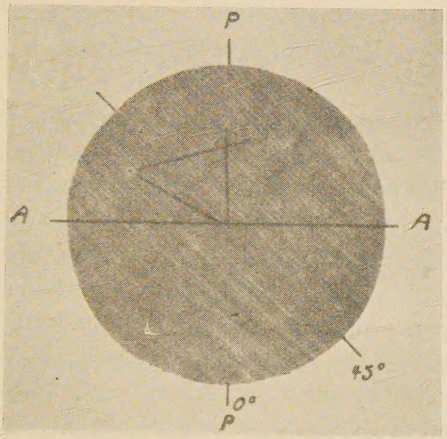
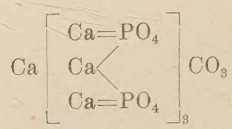


Abbildung 2.
Dünnschliff des mineralischen Apatis zwischen gekreuzten Nikolschen Prismen.
A-A Achse des Analytators
P-P Achse des Polarisators
Die c-Achse des Schliffs liegt unter einem Winkel von 45° zu den Achsen der Nikolschen Prismen.

Ehe die eigenen Untersuchungen besprochen werden sollen die zum Ziel hatten, den röntgenographischen Nachweis des Apatits im Dentin durch Gross zu bestätigen und darüber hinans die Richtung der Kristalle aufzufinden, sollen zuerst die polarisationsoptischen Untersuchungen und ihre Resultate besprochen werden.

Das polarisationsoptische Bild des Dentins und Apatits.

Die chemische Analyse des Apatits liefert das Resultat daß der Kristall aus mindestens 27 Sauerstoff-, 10 Calcium-, 6 Phosphor- und 1 Kohlenstoffatom aufgebaut sein muß. Diesem Ergebnis entspricht eine Strukturformel, die seinen Aufbau aus 3 Calciumphosphat- und einem Kalciumcarbonatmolekül berücksichtigt.



Mit dieser Formel stimmt auch die chemische Analyse der anorganischen Substanz des Dentins überein. Es sei noch bemerkt, daß in der Natur außerdem noch Apatit vorkommt, bei dem die CO_3-Gruppe durch zwei Chlor-, Fluor- oder Hydroxylgruppen ersetzt ist.

Dieser letztgenannte Hydroxylapatit, der in der Natur vorkommt, wurde von Klement und Trömel[1]) in der Zahnsubstanz neben dem Karbonatapatit nachgewiesen.

Aufbau des Apatitkristalls.

Apatit kristallisiert im hexagonalen System und zeigt mithin einen relativ einfachen Aufbau. Die Abbildung 1 zeigt einen wohlausgebildeten Apatitkristall, der 6 Prismen, 12 Pyramiden- und 2 Basisflächen hat. Die c-Achse des Kristalls steht senkrecht und in der Ebene der Basisflächen liegen die unter 60° sich schneidenden weiteren Achsen. Bringt man einen derartigen Apatitkristall zwischen zwei gekreuzten Nikolsche Prismen, so zeigt sich eine Aufhellung des Gesichtsfeldes, wenn die c-Achse des Kristalls mit der Schwingungsrichtung des polarisierten Lichtes einen Winkel von 45° bildet.

Die Abbildung 2[2]) zeigt die Aufnahme eines Dünnschliffes von mineralischem Apatit zwischen zwei gekreuzten Nikolschen Prismen bei der Lage der c-Achse von 45°. Auf dieser Abbildung ist die Schwingungsrichtung des Polarisators (das Nikolsche Prisma, durch das der Lichtstrahl eintritt) durch die Linie PP angegeben, die Schwingungsrichtung des Analysators, der hierzu senkrecht stehen muß (das Nikolsche Prisma, aus dem der Lichtstrahl austritt) ist durch die Linie AA gekenn-

[1]) Trömel-Klement: Hydroxylapatit, der Hauptbestandteil der anorganischen Knochen- u. Zahnsubstanz. Hoppe-Seilers Z. 1932 **213** 263–269.

[2]) Die Aufnahme wurde entnommen der Arbeit von R. Gross l. c.

zeichnet. Nur dann, wenn die c-Achse den Winkel von 45° mit einer der Polarisator- oder Analysatorrichtungen bildet, tritt die eben beschriebene Aufhellung des Gesichtsfeldes ein, die auch die Figur 2 zeigt.

Mit dieser Untersuchungsmethode müßte es möglich sein, auch die Richtung der c-Achse der Apatitkristalle im Zahn zu ermitteln. Es stellt sich aber hierbei eine Schwierigkeit heraus.

Die Analyse des Zahnes hat ergeben, daß außer der anorganischen Substanz — dem Apatit — auch noch organische Substanz einen Baustein des Dentins bildet. Da diese organische Substanz ebenfalls doppelbrechend ist und bei einer geeigneten Stellung zwischen den Nikolschen Prismen ebenfalls Aufhellung verursacht, kann man nicht ohne weiteres entscheiden, welcher Effekt nun vom Apatit und welcher von der organischen Substanz herrührt.

Es gibt zwei Wege, den Einfluß der organischen Substanz auszuschalten und die reine Doppelbrechung des Apatis zu ermitteln.

Man kann

1) die organische Substanz durch Entkollagenisieren entfernen oder

2) den Apatit entfernen und den Drehungswert der organischen Substanz feststellen und ihn von den Werten des Dentins abziehen. (Die organische Substanz kann z. B. durch Ausglühen ausgeschaltet werden.)

Anderseits kann Apatit in einem „Entkalkungsverfahren“ durch eine Behandlung mit z. B. verdünnter Salzsäure aus dem Dentin herausgelöst werden.

Wie P r o e l l und D i e t l (l. ct.) gezeigt haben, wird durch beide Vorgänge die Achsenlage im Dentin nicht wesentlich gestört und das Ergebnis der Untersuchungen war die Erkenntnis, daß die c-Achse der Apatitkristalle im Rattenzahn parallel der Zahnoberfläche verlaufe und daß bei kranken Zähnen diese Orientierung der Kristalle wesentlich gestört sei.

Diese polarisationsoptischen Resultate erhalten nun eine wesentliche Unterstützung durch die Untersuchung der Zähne im Röntgenlicht. Diese Untersuchung hat gegenüber der polarisationsoptischen zwei grundlegende Vorteile in der Beurteilung der Kristallrichtung des Apatits im Zahn. Es ist dieses

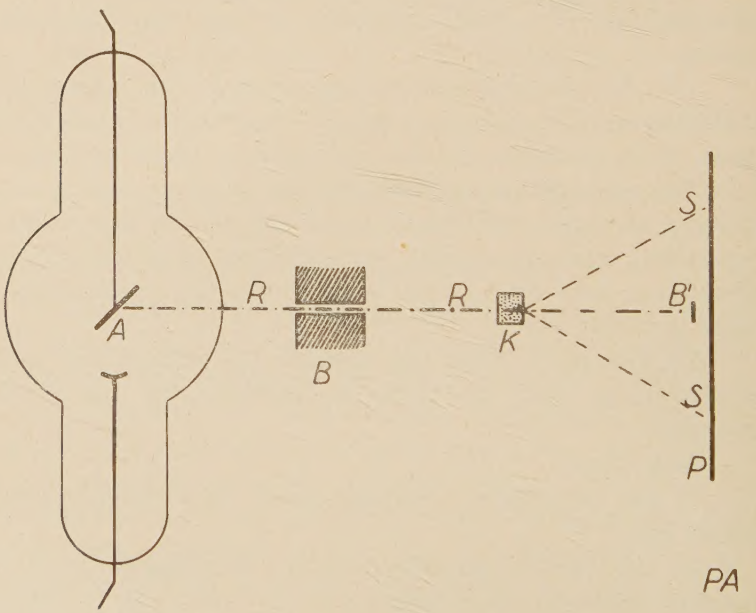


Abbildung 3
Prinzipdarstellung einer röntgenograph. Apparatur

A Antikathode
R Röntgenstrahl
B Blende
K Kristall
B' Blende zum Auffangen des Primärstrahls
S Interferenzstrahlung
P Photographische Platte oder Film
B'KS Winkel der Interferenzstrahlung = 2ϑ

erstens die Tatsache, daß nicht jede Doppelbrechung, die zwischen den gekreuzten Nikols beobbchtet wird, auf eine gerichtete Kristallstruktur zurückgeführt werden kann. Es sei hier nur daran erinnert, daß z. B. gekühltes Glas oder Glas, daß unter Druck steht, ebenfalls eine Aufhellung des Gesichtsfeldes zeigen. Es wäre somit nicht ausgeschlossen — wenn auch äußerst unwahrscheinlich — daß die beobachteten Aufhellungserscheinungen auf eine Druck- oder Spannungserscheinung des Dentins zurückzuführen sind.

Eine derartige Orientierungsvortäuschung wird bei der röntgenographischen Methode nicht beobachtet: Ein Röntgendiagramm wird nur von einem kristallin geordneten System, nicht von einem unter innerem Druck stehenden, ungeordneten System gegeben.

Der zweite Vorteil besteht darin, daß nur ein Kristallsystem mit Atomen einer höheren Ordnungszahl eine ausreichende Intensität der Interferenzringe gibt. Atome mit höherer Ordnungszahl sind beim Dentin nur die, die das anorganische Apatitgitter aufbauen und nicht die Atome, aus denen die organische Substanz besteht. Die Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Sauerstoffatome der organischen Substanz geben wegen ihrer kleinen Ordnungszahl keine intensiven Interferenzringe.

Diese beiden Vorteile gaben den Anlaß, trotz der experimentellen Schwierigkeiten der röntgenographischen Methode gegenüber der polarisationsoptischen, die polarisationsoptischen Resultate zu bestätigen und zu erweitern.

Die röntgenographische Methode:

Die Abbildung 3 zeigt die prinzipielle Anordnung einer röntgenographischen Apparatur. Der Röntgenstrahl R geht von der Antikathode A aus, passiert eine Blende B, die ihn möglichst punktförmig ausblendet und trifft dann den Kristall K. Von hier geht er auf direktem Wege weiter zur photographischen Platte P. Die interessierende Interferenzstrahlung des Kristalls wird ebenfalls von der Platte P aufgefangen. In den meisten

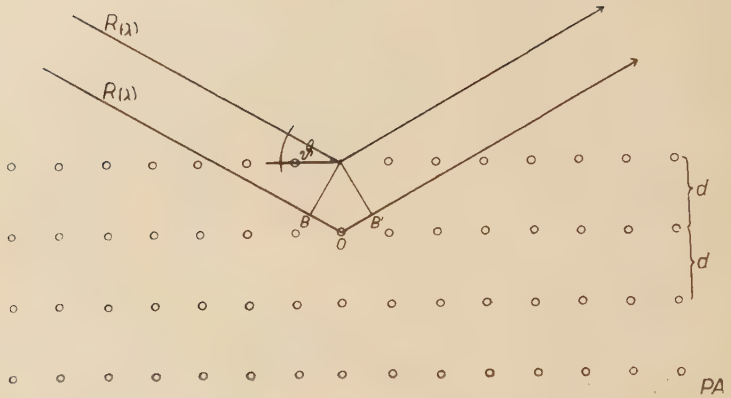


Abbildung 4
Reflexbedingung für Röntgenstrahlen

R (λ) Röntgenstrahl von der Wellenlänge λ
ϑ Reflexionswinkel
d Abstand der Netzebenen
Strecke BOB'Gangunterschied der Röntgenstrahlen.

Fällen blendet man aber den direkten Strahl durch die kleine Blende B' aus, damit er keine Überstrahlung in der Mitte der Platte hervorruft. Seine Intensität ist nämlich wesentlich größer als die der Interferenzstrahlung und er könnte durch diffuse Verbreiterung auf der Platte die Streustrahlung vollkommen überdecken.

Zur weiteren Erklärung des Zusammenhanges zwischen Atomordnung und Interferenzstrahlung sei auf die Figur 4 hingewiesen.

R (λ) sei ein Bündel paralleler Röntgenstrahlen von der gleichen Wellenlänge λ. Dieses monochromatische Strahlenbündel treffe eine Ebene des Kristalls unter dem Winkel ϑ, eine zweite Ebene, in der die Atome des Kristalls angeordnet

sind, befinde sich in dem Abstande d unter der ersten Ebene. An beiden Ebenen — und nur diese werden für die Betrachtung herausgegriffen — werden die Strahlen des Röntgenlichtes reflektiert wie an einer Spiegelebene. Die Reflexion der Strahlen tritt aber im Gegensatz zur normalen Spiegelung nur dann ein, wenn der Gangunterschied BOB' der von den verschiedenen Ebenen in der gleichen Richtung reflektierten Strahlen ein ganzes vielfaches der Wellenlänge λ ist. Weicht der Gangunterschied von den ganzen vielfachen von λ ab, so schwächen sich die Strahlen gegenseitig und man beobachtet dann keine Reflexion mehr. Der Gangunterschied der Strahlen ist durch die Strecke BOB' auf der Zeichnung 4 gegeben.

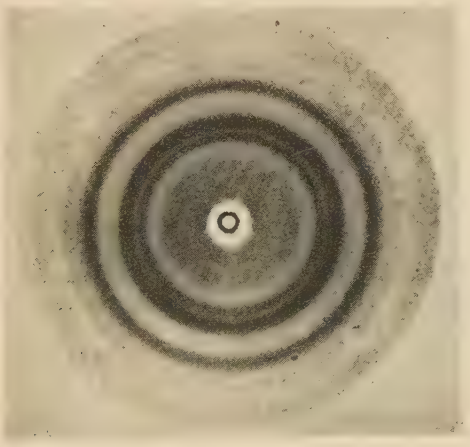


Abbildung 5
Typisches Pulverdiagramm

Die Kristalle sind geordnet, die Interferenzkreise haben überall gleichmäßige Stärke.

Diese Strecke kann demgemäß bei einem gegebenen Abstand den Ebenen im Kristall (Netzebenen) und der gegebenen Wellenlänge nur bei ganz bestimmten Winkeln ϑ ein ganzes vielfaches von γ oder gleich λ sein. Diese Beziehung zwischen dem Einfallswinkel des Strahles ϑ, dem Abstand der Netzebenen d und der Wellenlänge λ gibt für den Fall der Reflexion die Bragg'sche Formel

$$n\,\lambda = 2d \sin \vartheta$$

n ist eine ganze Zahl, in den meisten Fällen ist $n = 1$.

Kennt man jetzt die Wellenlänge des verwendeten Röntgenlichtes und den Winkel unter dem die Streustrahlung (in Abbildung 3 ist dieser Winkel $SKB' = 2\vartheta$) auftritt, so kann man ohne weiteres die Abstände der Netzebenen bestimmen und dadurch das Kristallsystem erkennen.

Eine weitere Bedingung für das Zustandekommen der Reflexion ist nach dem Gesagten, daß der Röntgenstrahl die Möglichkeit erhält, die Netzebenen unter einem reflexionsfähigen Winkel zu treffen. Würde man nämlich einen Einkristall in das Röntgenlicht halten, so würde es unwahrscheinlich sein, daß der Röntgenstrahl auch nur eine Netzebene unter einer Reflexionsbedingung anschneidet.

Um nun für alle Netzebenenabstände Reflexionsbedingungen zu schaffen, gibt es bei einem monochromatischen Strahlenbündel zwei Möglichkeiten.

Man kann einmal den Kristall in allen Richtungen drehen, oder man kann zweitens den Kristall fein pulvern und somit durch die wirre Lage der einzelnen Kristalle die Möglichkeit schaffen, daß für jeden Netzebenenabstand einige Kristalle so liegen, daß die Reflexionsbedingungen gemäß der Braggschen Gleichung erfüllt sind. Die letztgenannte Methode wird praktisch immer angewandt, nachdem sie zuerst von Deybe und Scherrer angegeben worden ist.

Die Abbildung 5 zeigt eine Deybe-Scherreraufnahme, wie sie von einem derartigen wirr durcheinanderliegenden Kristallhaufen gewonnen ist. Die Röntgeninterferenz zeigt hier kon-

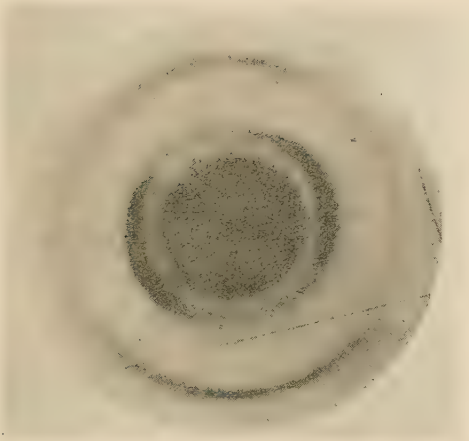


Abbildung 6
Typisches Faserdiagramm

Die Kristalle sind nur nach einer Richtung orientiert, man erkennt deutlich die Sicheln. (Positiv eines Röntgenfilmes.)

zentrische Ringe. Jedem dieser Ringe entspricht ein besonderer Netzebenenabstand. Und zum Zustandekommen des einzelnen Ringes, dessen Interferenzwinkel SKB' (s. Abb. 3) gleich 2ϑ ist, haben alle Kriställchen beigetragen, deren Netzebenen zufällig einen Winkel von ϑ mit dem einfallenden Röntgenstrahl bildeten. Da bei einer genügend feinen Pulverung eine große Anzahl von Kriställchen dieser Bedingung entspricht, erhält man einen vollen kontinuierlichen Kreis. Für einen anderen Interferenzring dessen Interferenzwinkel z. B. 2ϑ' betrug, haben eine andere Anzahl von Kriställchen die Interferenzmöglichkeit geschaffen und zwar die Kriställchen, deren Netzebenen mit dem einkommenden Röntgenstrahl den Winkel ϑ' bildeten. Beide Ringe sind natürlich durch zwei verschiedene Netzebenenabstände d und d' verursacht.

Ein ganz anderes Bild erhält man aber dann, wenn die Kristalle in einer besonderen Richtung bevorzugt gelagert und geordnet sind. Man spricht in diesem Fall von einem Faserdiagramm. Die Ringe bilden dann keine vollständigen Kreise mehr, sondern Teile des Kreisbogens werden fehlen. Für diese Teile liegen durch die teilweise Richtung der Kristalle die Netzebenen nicht mehr im reflexionsfähigen Winkeln zum einfallenden Röntgenstrahl. Man kann jetzt durch Beobachtung der verstärkten Kreisbogenteile feststellen, in welcher Richtung die Kristalle vorzugsweise gelagert waren.

Die Abbildung 6 zeigt ein derartiges Faserdiagramm, bei der die Kristalle nur in einer Richtung orientiert waren. Es handelt sich hierbei um ein Röntgendiagramm von einer Baumwollfaser.

Wenn es gelingt, den Interferenzkreis, der die sichelförmigen Verdickungen aufweist, einer bestimmten Netzebene im Kristall anzuordnen, dann kann festgestellt werden, nach welcher Kristallachse die Kristalle geordnet waren.

Ziel der eigenen Untersuchungen.

Nach den Feststellungen von R. Groß, daß das Röntgendiagramm des Dentins dem des Apatits entsprach und nachdem die Amerikaner Cape und Kitchin[1]) und andere Autoren diesen Befund bestätigt hatten und außerdem feststellten, daß eine Orientierung der Apatitkristalle vorliege, — aber ohne sagen zu können, welche, — wurden die eigenen Untersuchungen angestellt, um weiterhin festzustellen, welche Achse des Kristalls eine Richtung aufweise. Es wurde also versucht eine Sichelstruktur der Interferenzringe aufzufinden und diese Ringe zu indentifizieren. Das wesentlichste Ergebnis sei gleich hier vorweggenommen: es zeigt sich, daß die c-Achsen der Apatitkristalle im Dentin parallel zur Zahnoberfläche liegen.

[1]) Cape und Kitchin: Histologic Phenomena of Tooth Tissues as Observed under Polarized Light, with a Note on the Roentgen-Ray Spectra of Enamel and Dentin. J. of the Am. dent. Ass. 1929 pg 193—227.

7a 7b

Abbildung 7
Bild des menschlichen Zahndünnschliffes zwischen gekreuzten Nikolschen Prismen.

Aus diesem Schliff sind die auf Abb. 8 gezeigten Stäbchen herausgenommen. Das Präparat ist zwischen beiden Aufnahmen um 45° gedreht worden. Man erkennt, daß Stellen, die auf der einen Abbildung hell sind, auf der anderen dunkel erscheinen und umgekehrt.

Experimenteller Teil.

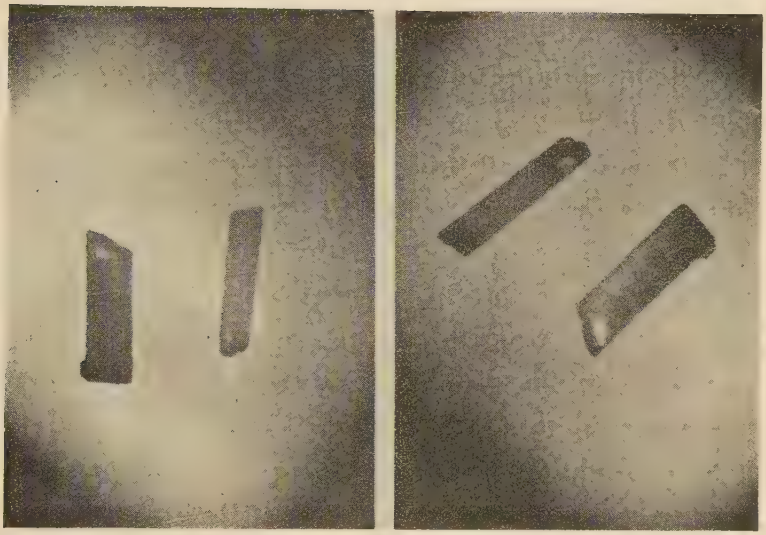
Das Zahnmaterial.

Es wurden Vertikalschliffe aus Ratten- und Menschenzähnen hergestellt. Die ersten Schliffe waren noch ziemlich dick und hatten ungefähr eine Dicke von 100 μ. Mit diesen dicken Präparaten wurden aber keine befriedigenden Ergebnisse erzielt. Es wurden darum die weiteren Untersuchungen mit ganz dünnen Schliffen durchgeführt (Dicke ca 20 μ). Vor der Untersuchung wurden die Präparate in physiologischer Kochsalzlösung aufbewahrt, auch während der langen Expositionszeiten wurden sie dauernd feucht gehalten, um ein Austrocknen zu vermeiden. Nur bei der ersten Untersuchung wurde ein Stäbchen herauspräpariert und rund geschliffen, bei den dünnen Schliffen in der weiter unten beschriebenen Spezialkamera blendete der Röntgenstrahl selbst ein etwa 0,4 mm^2 großes Stück aus dem ganzen Schliff heraus.

Die Zahnschliffe, von denen Röntgendiagramme hergestellt werden sollten, wurden erst unter dem Polarisationsmikroskop auf ihre doppelbrechende Eigenschaften hin untersucht; diejenigen Stellen des Zahnes, die Doppelbrechung zeigten, wurden dann in den Strahl des Röntgenlichtes gebracht. Die Abbildungen 7a und 7b zeigen ein Stück des menschlichen Zahnes zwischen den gekreuzten Nikolschen Prismen im polarisierten Licht. Die beiden Aufnahmen unterscheiden sich dadurch, daß der Zahnschliff um 45° gedreht wurde.

Stellen, die auf der einen Aufnahme hell erscheinen, müssen bei der anderen dunkel sein und umgekehrt, wie die Abbildungen zeigen.

Aus dem fehlenden Stück dieses Zahnes wurde ein Stück herauspräpariert und rund geschliffen, (siehe Abb. 8) Durch den Rundschliff des Stäbchens sollte vermieden werden, daß eine Kantenwirkung u. U. eine Richtung der Kristalle im Zahn vortäuschen könnte.



8 a 8 b

Abbildung 8

Zwei Stäbchen, die aus dem Schliff der Abbildung 7 herausgenommen wurden, zwischen gekreuzten Nikolschen Prismen. Die Nikolschen Prismen sind um 45° gedreht worden. Von diesen Stäbchen wurden röntgenographische Aufnahmen gemacht.

Das Stäbchen wurde deshalb senkrecht zur Zahnoberfläche herausgeschnitten, weil damals vermutet wurde, daß die c-Achsen der Apatitkristalle senkrecht zu der Oberfläche des Zahnes stehen. Als Resultat dieser Untersuchungen, die bereits im Jahre 1936 vorgenommen wurden, zeigte sich, daß diese Annahme einer Orientierung der Kristalle senkrecht zur Zahnoberfläche nicht mit dem röntgenographischen Befund in Einklang zu bringen war, und daß dementsprechend die Richtung in einer anderen Lage zu suchen sei.

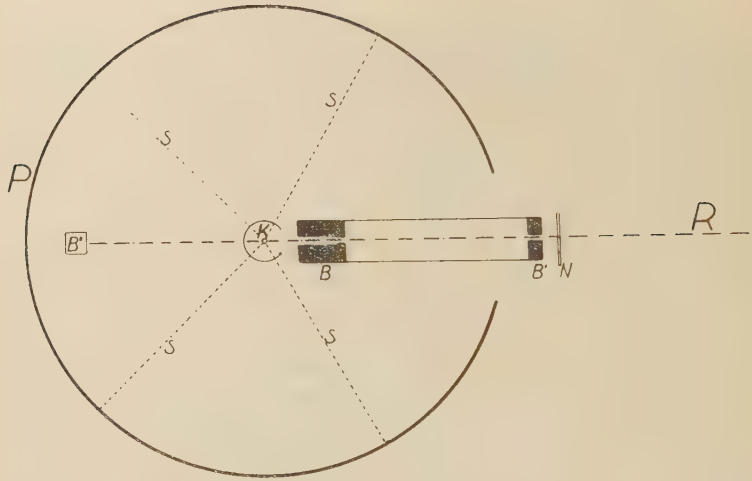


Abbildung 9
Die Deybe-Scherrer Rundkamera 360 mm Umfang.
R Röntgenstrahl
N Nickelfilter zur Filterung der Kβ-Strahlung
B, B'Blenden
B" Blende zum Auffangen des Primärstrahls
K Präparat, das in Pfeilrichtung gedreht wurde
F Photographischer Film
S Interferenzstrahlung

Die Drehuntersuchung mit der 360 mm Rundkamera.

Zur Untersuchung des größeren der oben abgebildeten Stäbchen diente eine Deybe-Scherrer-Kamera, die auf der Abbildung 9 gezeigt ist.

Bei dieser Kamera ist der Film zylindrisch um das Präparat gelegt. Der volle Zylinderumfang beträgt 360 mm und dementsprechend beträgt der Abstand des Präparates vom Film 57,4 mm. Das Stäbchen K wurde durch ein kleines Uhrwerk in der Senkrechten langsam gedreht.

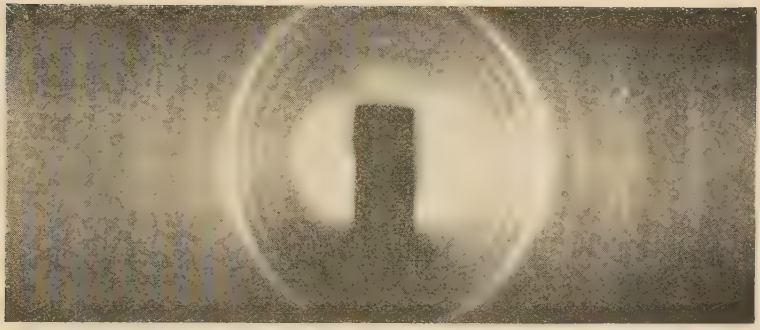


Abbildung 10
Negativ eines Röntgenfilmes, erhalten von dem Stäbchen der Abb. 8 mit der 360 mm Debye-Scherrerkamera. Der extrem helle Ring ist die Linie Nr. 3 (Tabelle 1) von den Netzebenen (211) (112) und (300)

Die Aufnahme wurde in 24-stündiger Belichtungszeit mit dem Röntgenlicht der Kα-Kupferstrahlung durchgeführt, die Kβ-Strahlen wurden durch ein Nickelfilter absorbiert. Die Spannung betrug an der Röntgenröhre 30 Kilovolt und die Stromstärke 20 Milliampère.

Die Abbildung 10 zeigt die so erhaltene Röntgenaufnahme, deren Auswertung in der Tabelle 1 durchgeführt ist.

Tabelle 1
Drehaufnahme des Zahnstäbchens mit der 360 mm Kamera. ($\lambda = 1{,}54$ A.-E.)

Linie	Reflektionswinkel 2ϑ gefunden	Intensität der Interferenzringe	Netzebenenabstand d		Indices der zugehörigen Netzebenen
			gefunden	berechnet	
1	26,5°	st	3,40	3,42	(002)
2	29,5°	st	3,00	3,07, 3,17	(120), (102)
3	32,5°	sst	2,75	2,78, 2,69	(211),(112),(300)
4	40,0°	st	2,25	2,75	(130)
5	47,6°	st	1,91	1,93	(221)
6	50,5°	schw	1,80	1,84	(123)
7	54,0°	schw	1,70	1,72	(004)
8	65,0°	sschw	1,43	1,45	(304)

In dieser Tabelle ist der Reffexionswinkel in Graden für 2ϑ angegeben: für die Intensitätsangabe bedeuten: sst sehr starke, st stark, schw schwache und sschw sehr schwache Intensität der Ringe. Der Abstand der Netzebenen d ist in Angström-Einheiten angegeben. Die Angabe welcher Netzebene die gefundene Linie zugeordnet ist, geschieht nach den röntgenographisch üblichen Indices. Die berechneten Netzebenen und ihre Indices wurden der Arbeit von St. Naray-Szabo in der Zeitschrift für Kristallographie BD 75 (1930) S. 387 entnommen. Sie sind berechnet für einen Karbonatapatit.

Aus der Übereinstimmung der gefundenen Netzebenenabstände mit den berechneten resultiert, daß es sich bei dieser Aufnahme tatsächlich um einen Apatit im Dentin handelt und daß die organische Substanz des Dentins — im Gegensatz zur polarisationsoptischen Untersuchung — keine Röntgeninterferenz gibt.

Die Aufnahme 10 zeigt, daß keine der Linien eine Verdickung zeigt. Bei dieser Aufnahme ist bemerkenswert, daß die Linien 1 und 7 mit den 2ϑ-Werten 26,5° und 54,6° eine besondere Schärfe zeigen. Diese Linien werden durch die Netzebenen (002) und (004) hervorgerufen, eine Deutung dieser Erscheinung soll weiter unten im anderen Zusammenhang gegeben werden.

Die Untersuchung mit der Spezialkamera.

Es wurde nun ein neuer Weg eingeschlagen, um festzustellen, welche Achse des Apatits eine Orientierung zeige.

Die weiteren Aufnahmen wurden mit einer Spezialkamera durchgeführt, die nach folgenden Gesichtspunkten gebaut wurde.

1) Das Präparat sollte noch wesentlich dünner gewählt werden können als bei den anderen Aufnahmen. Da von diesem äußerst dünnen Schliff keine Rundstäbchen mehr hergestellt werden konnten, wurde der ganze Schliff nach seiner Untersuchung im Polarisationsmikroskop hart vor die Blende gesetzt.

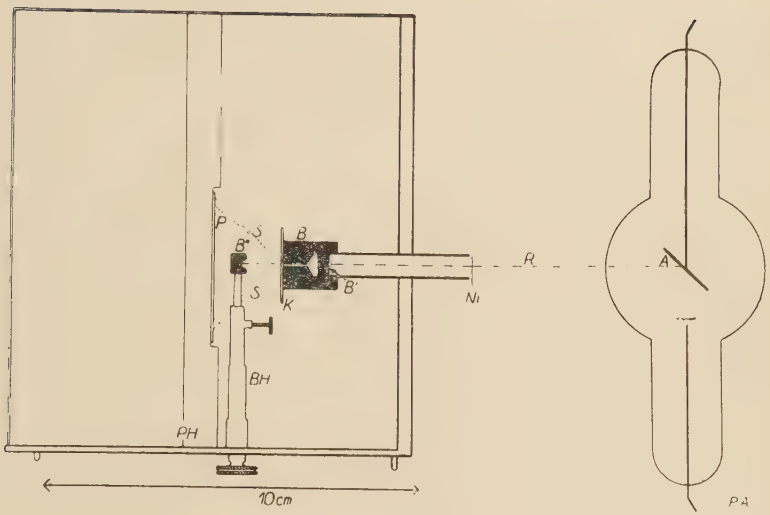


Abbildung 11
Röntgenspezialkamera.
A Antikathode
R Röntgenstrahl
Ni Nickelfilter zur Absorption der K-Strahlung
B' Blende mit 0,6 mm Durchmesser
B Blende mit 1,0 mm Durchmesser zum Auffangen der Streustrahlung der Blende B'
K Präparat
B'' Blende zum Auffangen des Primärstrahls
BH Halter für Blende B''
S Interferenzstrahlung
P Photographische Platte
PH Halter für photographische Platte
Abstand KP gleich 16,7 mm

Die Blende hatte an der runden Austrittsöffnung einen lichten Durchmesser von 0,6 mm. Es wurde somit ein kreisförmiger Teil mitten im Schliff bestrahlt. Damit war auch vermieden, daß durch die Form des Präparates (Kanten) eine Asymmetrie der Deybe-Kreise entstehen konnten.

2) Damit durch die gewählte Verkleinerung der Blenden keine Vergrößerung der Belichtungszeit resultierte, wurde der Abstand von Präparat zu Film auf 16,7 mm (statt 56,7 mm bei der 360 mm Deybe-Scherrer-Kamera) verkleinert. Als Film wurde ein planer Streifen von 6×9 cm in einer photographischen Kassette verwendet.

3) Um festzustellen, ob eine etwa auftretende Sichelgestalt der Linien nicht doch durch eine Asymmetrie der Kamera verursacht sein könnte, wurde Vorsorge getroffen, daß das Präparat an seiner belichteten Stelle um 90° gedreht werden konnte. Hielten dann die Sichelformen ihre Lage, so waren sie durch eine Asymmetrie der Kamera bedingt, drehten sie sich aber ebenfalls um 90°, so war der Beweis gegeben, daß es sich tatsächlich um einen Fasereffekt der Apatitkristalle handeln mußte.

Die Spezialkamera.

Die Abbildung 11 zeigt einen Durchschnitt durch die Röntgenkamera.

Der Röntgenstrahl R kommt von der Antikathode A und passiert die Blende B'. Diese Blende schneidet aus ihm einen Strahl von 0,6 mm Durchmesser heraus. Die Blende B' besteht aus einem Bleirohr, daß eine Bohrung von 0,6 mm Durchmesser hat. Aus dieser Blende B' sitzt eine zweite Blende B aus Blei als Kappe mit einem Durchmesser von 1,0 mm. Die zweite Blende B soll verhindern, daß die Streustrahlung von den Kanten der ersten Blende B' auf die photographische Platte gelangen. Auf dieser zweiten Blende B wird das Präparat des Zahnes als Dünnschliff durch eine Klammer festgehalten und

kann axial zum Röntgenstrahl gedreht werden. Nach dem Passieren des Zahnschliffes K wird der direkte Röntgenstrahl R durch eine dritte Blende B'' von der Platte ferngehalten. Diese dritte Blende B'' ist ebenfalls aus Blei hergestellt. Die vom Präparat ausgehende Streustrahlung S wird von der photographischen Platte bzw. Film aufgefangen und zeigt dort die Interferenzlinien. Der Film wurde in einer 6 · 9 Kassette, die in 16,7 mm Abstand vom Präparat K durch den Kassettenhalter PH gehalten. Die Blende B konnte durch den Blendenhalter B justiert werden. Vor dem Eintritt in die Blenden passierte der Röntgenstrahl R noch das Nickelfilter N, damit die schädliche Kβ-Strahlung des Kupfers mit der Wellenlänge von 1,39 A.-E. absorbiert wird.

Zur Aufnahme wurden Agfa- und Doneoröntgenfilme, die zurecht geschnitten wurden, in die Kasette eingelegt und zwar immer hinter einen Doneofilm ein Agfafilm, damit von jeder Aufnahme zwei Filme vorhanden waren. Es zeigt sich nämlich, daß die doppeltbegossenen Filme so wenig Röntgenstrahlen absorbieren, das man noch durch den einen Film hindurch einen zweiten voll belichten kann. Infolge der verschiedenen Härte der Filme konnten dann auf dem einen oft Linien beobachtet werden, die auf dem andern durch Über- oder Unterbelichtung unsichtbar waren.

Die Belichtungszeiten bei den Aufnahmen lagen bei einer Spannung von etwa 30 Kilovolt und 20 Milliampère Stromstärke bei 48 Stunden. Entwickelt wurden die Aufnahmen mit einem Röntgenentwickler bei 18° vier Minuten lang.

Es wurden nun eine Reihe von Ratten- und Menschenzähnen untersucht. Durch den kurzen Abstand zwischen Präparat und Film ließ es sich nicht vermeiden, daß die Lage der Linien auf dem Film nicht allzu gut reproduzierbar ist. Aber diese Fehlerquelle war für unsere Untersuchungen ohne Belang, da es immer gelang, wie weiter unten zu sehen ist, jede vermessene Linie einer Kristallnetzebene zuzuordnen. (Die Abweichungen überstiegen selten 1 mm). Es sollen nun zuerst die einzelnen Untersuchungen besprochen werden.

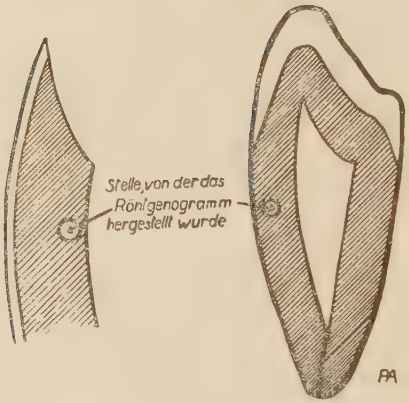


Abbildung 12
Schnitt durch Ratten- und Menschenzahn
Die Stellen, die dem Röntgenstrahl ausgesetzt wurden, sind durch einen Kreis gekennzeichnet.

Einzeluntersuchungen an Ratten- und Menschenzähnen.

Ratte Präparat I (senkrecht)

Aus einem Rattenzahn wurde eine senkrechte Fläche herausgeschliffen. Dieses Präparat wurde unter dem Polarisationsmikroskop auf eine optisch aktive Stelle untersucht und diese Stelle wurde dann in das Strahlenbündel der Röntgenstrahlen gebracht. (s. Abb. 12). Die Reflexe wurden auf einem Doneo und Agfa-Film aufgefangen, die hintereinander gelagert waren. Die aufgefundenen Linien zeigt die Tabelle II.

Tabelle 2
Ratte, Präparat I (senkrecht)

Filmart	Durchmesser und Intensität der Interferenzringe in mm (Spezialkamera 16,7 mm)			
Doneo	16,0 st	20,5 sst	27,5 schw	
Agfa	16,0 st	18,0 st	20,0 sst	27,5 schw

Die Ringe 16,0 st des Doneofilm und die Ringe 16,0 st 18,0 des Agfafilms zeigen oben und unten eine Sichel.

Ratte Präparat II (senkrecht)

Der Rattenzahn II wurde in der gleichen Weise präpariert wie der Zahn I. Auch hier wurde unter dem Polarisationsmikroskop eine optisch aktive Stelle ausgewählt, die dann röntgenographisch untersucht wurde.

Tabelle 3
Ratte, Präparat II (senkrecht)

Filmart	Durchmesser und Intensität der Interferenzringe in mm (Spezialkamera 16,7 mm)				
Doneo	20,0 sst	30,0 schw	37,0 schw	45,0 schw	
Agfa	15,6 st	17,6 st	20,0 sst	36,0 schw	41,0 schw

Die Ringe 15,6 und 17,8 des Agfa und 45,0 des Doneo-Filmes zeigen oben und unten eine Verdickung.

Mensch, Präparat I (senkrecht)

In der gleichen Weise, wie die Rattenzähne, wurde auch der Dünnschliff eines menschlichen Eckzahnes untersucht. Die erste Aufnahme wurde mit stehendem Zahn durchgeführt, wie es die Abbildung 12 zeigt. Das Resultat dieser Aufnahme zeigt die Tabelle IVa.

Tabelle IVa
Mensch, Präparat I (senkrecht)

Filmart	Durchmesser und Intensität der Interferenzringe in mm (Spezialkamera 16,7 mm)				
Doneo	16,0 st	18,0 st	20,5 sst	27,0 schw	34,0 schw
			37,0 schw	42,0 schw	45,0 schw
Agfa	16,4 st	19,0 st	22,0 sst		

Die Ringe des Doneofilmes 16,0, 18,0 und 45,0 sowie die Ringe 16,4 und 19,0 des Agfafilmes zeigen die für eine Faserstruktur typischen Verdickungen, die oben und unten liegen.

Mensch, Präparat I (waagerecht)

Das oben beschriebene Präparat wurde bei einer Aufnahme um 90° gedreht und dann wurde eine zweite Aufnahme durchgeführt. Die aufgefundenen Ringe sind in der Tabelle IV b gekennzeichnet.

Tabelle IV b

Mensch, Präparat I (waagerecht)

Filmart	Durchmesser und Intensität der Interferenzringe in mm (Spezialkamera 16,7 mm)			
Doneo	21,0 sst	27,0 schw	35,5 schw	44,5 schw
Agfa	16,5 st	19,1 st	21,6 sst	28,5 st
		37,0 schw	41,0 schw	46,5 schw

Hier zeigten die Ringe des Doneofilmes 44,5 und die Ringe des Agfafilmes 16,5 und 46,5 links und rechts die Sicheln.

Mensch, Präparat II (waagerecht)

Ein zweites Präparat eines menschlichen Zahnes wurde in waagerechter Lage untersucht. Auch bei diesem Präparat wurde als Bestätigung des Befundes vom Präparat Mensch I (waagerecht) eine Verdickung der seitlichen Ringe des Doneofilmes 17,0 und 44,5 und des Agfafilmes 45,5 gefunden.

Tabelle V

Mensch, Präparat II (waagerecht)

Filmart	Durchmesser und Intensität der Interferenzringe in mm (Spezialkamera 16,7 mm)				
Doneo	15,0 st	17,0 st	21,5 sst	34,5 schw	39,0 schw
					44,5 schw
Agfa	16,5 st	19,0 st	21,5 sst	28,5 st	37,0 schw
				41,0 schw	45,5 schw

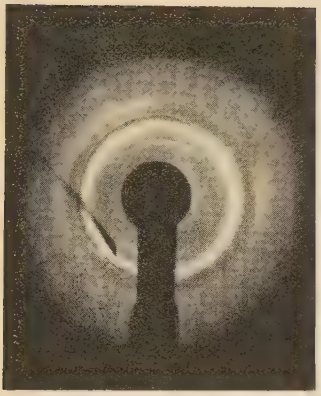


Abbildung 13
Röntgendiagramm des Präparates Mensch I (senkrecht),
erhalten mit der Spezialkamera 16,7 mm.
Innerhalb des extrem hellen Ringes (Linie 3, Tabelle I) erkennt man die Sicheln der Linie 1 und ebenso am oberen Rande die Sichel der Linie 7. (Das Bild ist ein Negativ von einem Röntgenfilm.)

Mensch, Präparat III (senkrecht)

Zum Abschluß wurde noch ein Dünnschliff des menschlichen Zahnes untersucht, dessen Röntgenogramm ein etwas abweichendes Resultat gegenüber den anderen Untersuchungen ergab. Der Zahn war senkrecht aufgestellt. Die Sicheln zeigten sich aber nicht oben und unten, wie zu erwarten gewesen wäre, sondern links oben und rechts unten. Die Tabelle VI zeigt die Auswertungen des Röntgenogramms.

Tabelle VI
Mensch, Präparat II (senkrecht)

Filmart	Durchmesser und Intensität der Interferenzringe in mm (Spezialkamera 16,7 mm)			
Doneo	16,0 st	20,0 sst	27,0 st	44,0 schw
Agfa	17,0 st	21,5 sst	29,0 st	46,5 schw

Die links oben und rechts erscheinende Sichelform zeigten die Ringe des Doneofilmes 16,0 und 44,0 sowie die des Agfafilmes 17,0 und 46,5. Diese Abweichungen, die darauf hindeuten, daß die c-Achse einen Winkel von ca 45° mit der Oberfläche des Zahnes bildet, ist so zu deuten, daß bei diesem Schliff eine Stelle ausgewählt wurde, bei der irgendeine Störung des normalen Kristallgefüges vorlag. Diese Stellen sind, wie es auch die Abbildung 7 zeigt, unter Umständen anzutreffen.

Die Zuordnung der Linien und die Auswertung der Röntgenogramme.

Als Beispiel eines Röntgenogramms mit der Spezialkamera ist auf der Abbildung 13 ein Negativ des Filmes vom Präparat Mensch I (senkrecht) wiedergegeben. Man erkennt deutlich die Sicheln oben und unten innerhalb des extrem hellen Kreises (Linie 3).

Es war die Aufgabe, die einzelnen Linien den Netzebenen anzuordnen und dadurch festzustellen, bei welchen Netzebenen eine Faserstruktur sich ausprägte.

Durch den Vergleich der bekannten Daten des Apatits mit den Linien, die die erste Aufnahme mit der 360 mm Drehkamera gab, konnten die einzelnen Linien genau den Netzebenen zugeordnet werden. Es handelt sich jetzt nur noch darum, die Werte, die mit der 360 mm Rundkamera gewonnen waren, auf die 16,7 mm Spezialkamera umzurechnen. Es mußte natürlich dabei berücksichtigt werden, daß die Spezialkamera

einen plan liegenden Film verwendet, während bei der Rundkamera der Film um das Präparat herumgebogen ist. Die Tabelle VII gibt die entsprechenden Vergleichswerte an.

Tabelle VII

Vergleich der Interferenzlinien der 360 mm Rundkamera mit denen der Spezialkamera 16,7 mm.

Netzebenen	(002)	(120) (102)	(211) (112) (300)	(130)	(222)	(123)	(005)
Nummer der Linien s. Tab. I	1	2	3	4	5	6	7
Rundkamera 2ϑ	26,5°	29,5°	32,5°	40,0°	47,6°	50,5°	54,5°
Durchmesser der Zerstreuungskreise bei der 16,7 mm Spezialkamera in mm.	16,6	18,9	21,2	28,0	36,4	40,2	45,0

Die Linie der Netzebenen (211) (112) (300) — entsprechend 21,2 mm Durchmesser des Zerstreuungskreises — zeigte sich durch eine besonders große Intensität aus. Es gelang durch diese Linie leicht, die einzelnen Linien der Aufnahmen von der Spezialkamera mit den berechneten in Einklang zu bringen. Trotz der nicht guten Planlage des Filmes zeigen die Linien selten eine größere Abweichung als 1 mm von der berechneten Lage. Eine Zusammenstellung über alle Aufnahmen zeigt die Tabelle VIII.

Tabelle VIII

Übersicht der gefundenen und berechneten Interferenzringe für die 16,7 mm Spezialkamera.

Indizes der Netzebenen		(002)	(120) (102)	(211) (112)	(130)	(222)	(123)	(004)		
für diese Netzebenen berechneten Durchmesser der Interferenzringe in mm		16,6	18,9	21,2	28,0	36,4	40,2	45,0		
Numm. d. Interferenzringe		1	2	3	4	5	6	7		
Nummer der Linie										
Präparate	Filmart	Durchmesser der Interferenzringe (gefundenen)							Lage der Sicheln	Lage der c-Achse
Ratte I	Doneo	**16,0**		20,5	27,5				) (	|
senkrecht	Agfa	**16,0**	**18,0**	20,0	27,5				) (	|
Ratte II	Doneo			20,0	30,0	37,0		**45,0**	) (	|
senkrecht	Agfa	**15,6**	**17,6**	20,0		36,0	41,0		) (	|
Mensch Ia	Doneo	**16,0**	**18,0**	20,5	27,0	37,0	42,0	**45,0**	) (	|
senkrecht	Agfa	**16,4**	**19,0**	22,0					) (	|
Mensch Ib	Doneo			21,0	27,0	35,5		**44,5**	⊂ ⊃	—
waagerecht	Agfa	**16,5**	19,1	21,6	28,5	37,0	42,0	**46,5**	⊂ ⊃	—
Mensch II	Doneo	15,0	**17,0**	21,5	27,0	34,5	39,0	**44,5**	⊂ ⊃	—
waagerecht	Agfa	16,5	19,0	21,5	28,5	37,0	41,0	**45,5**	⊂ ⊃	—
Mensch III	Doneo	16,0		20,0	27,0			44,0	) (	\
senkrecht	Agfa	17,0		21,5	29,0			46,5	) (	\

In dieser Tabelle ist der Durchmesser der Interferenzkreise in mm angegeben. Die Interferenzringe, deren Durchmesserangabe unterstrichen ist, zeigen eine Sichelform, die Lage der Sicheln ist durch die Zeichen) (und angegeben:) (bedeutet eine Lage der Sicheln rechts und links, während sich die Sicheln bei dem Zeichen ⊂ ⊃ oben und unten befanden. | bedeutet senkrechte und — waagerechte Lage der c-Achse, bei dem Zeichen \ lief die c-Achse von links oben nach rechts unten.

Auf dieser Tabelle sieht man, daß im allgemeinen nur die Linien der Basis Netzebenen (002) und (004) eine Sichelform

aufweisen, während die Linien der übrigen Netzebenen (211) (112) (300) (222) und (123) den vollen Kreis zeigen. Hieraus resultiert, daß die Sichelform durch eine Richtung der c-Achse des Apatis im Präparat hervorgerufen sein muß.

Die Lage der Sicheln zur Lage des Präparates zeigt, daß alle Sicheln bei den senkrecht geordneten Zähnen oben und unten liegen, während sie bei den waagerecht angeordneten Zähnen rechts und links vom Präparat zu sehen sind. Hieraus resultiert, daß in allen Fällen die c-Achse des Apatits der Zähne parallel der Oberfläche der Zähne läuft. Die einzige Ausnahme macht das Präparat III des menschlichen Zahnes, bei dem aber wohl eine Störung des Kristallbaues vorlag, bei diesem Präparatstand die c-Achse unter einem Winkel von 45° zur Oberfläche.

Nicht gedeutet ist bei diesem Befund, daß auch die Linien der Netzebenen (120) (102) in einigen Fällen Sichelstruktur aufwies, es müßte zur Klärung dieser Frage erst entschieden werden, oa der Effekt durch die Linie der Netzebene (102) oder der Ebene (120) hervorgerufen wird. Zu diesem Zweck wäre es erforderlich, eine Kamere mit erheblich größerem Durchmesser und Auflösungsvermögen zu konstruieren, um so eine Trennung der beiden Linien zu erzielen.

Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß es sich bei diesem Effekt der Sichelstruktur nicht um eine Asymmetrie der Kamera handeln kann, da ja das Präparat in einigen Fällen um 90° gedreht worden ist, mit dieser Präparatdrehung war auch eine Drehung der Sicheln um 90° verbunden. Ein zweites Moment spricht gegen einen Asymmetrieeffekt der Kamera: nur bestimmte Linien der einzelnen Aufnahme zeigen die Sichelstruktur, alle übrigen aber nicht. Auch aus dieser Tatsache kann geschlossen werden, daß es sich bei den aufgefundenen Sicheln ausschließlich um einen Orientierungseffekt des Apatits im Zahn handeln muß.

Aus der Größe der Sicheln, die einen Sektor von etwa 30° ausfüllen, kann man weiter die Aussage machen, daß es

sich nicht um eine strenge Orientierung in Richtung c-Achsen handeln kann, sondern daß die Kristalle in der Richtung der c-Achsen noch ein gewisses Spiel zeigen. Sie sind mithin nicht streng parallel angeordnet, wie in einem wohlausgeprägten Apatitkristall, sondern sind nur vorzugsweise parallel zur Oberfläche gelagert, zeigen aber von dieser Hauptrichtung geringe Abweichungen.

Es war oben bereits erwähnt, daß sich die Linien $2\,\vartheta = 26{,}25^0$ und $2\vartheta = 54{,}6^0$ bei der Drehkameraaufnahme durch eine größere Schärfe gegenüber den anderen Linien auszeichneten. Diese Linien wurden als Linien wurden als Linien der Basisebenen (002) und (004) identifiziert.

Nun besteht folgender Zusammenhang zwischen der Schärfe einer Linie und dem Kristallhabitus: sind die Kriställchen im Präparat kleiner als 100 μμ im Durchmesser, so werden die Linien unscharf. Sind nur vereinzelte Linien scharf, andere aber nicht, so ist dies ein Beweis dafür, daß die Kristalle in bestimmten Achsenrichtungen besonders lang gebaüt sind. Dies ist bei den Apatitaufnahmen des Dentins der Fall.

Auf Grund der besonderen Schärfe der Linien $2\,\vartheta = 26{,}5^0$ und $2\,\vartheta'$ $54{,}6^0$ kann die Aussage gemacht werden, daß die Apatitkristalle im Dentin in Richtung der c-Achse eine größere Ausdehnung zeigen als in Richtung der beiden anderen Achsen. Es handelt sich also bei dem Apatit im Zahn um ziemlich lange, dünne Nadeln, die in ihrer Form etwa einem sechseckigen Bleistift ähneln mögen.

Dieser Befund steht im Einklang mit den Untersuchungen über die Ritzhärte im Dentin, die in der Bonner Mund- Zahn- und Kieferklinik als Promotionsarbeit von Dr. B o r n vorgenommen wurden. Das Resultat dieser Untersuchungen war, daß die geringste Ritzhärte parallel der Zahnoberfläche — und mithin parallel der c-Achse — vorhanden war. Senkrecht zur Oberfläche — und somit senkrecht zur Lage der langen Achse der Kristalle — wurde die größte Ritzhärte gefunden.

Auch dies deutet darauf hin, daß der Apatit im Dentin des Zahnes in Nadeln angeordnet ist, die parallel der Zahnoberfläche lfegen. Parallel zu diesen Nadeln ist eine geringe Ritzhärte zu erwarten, während senkrecht dazu die große Ritzhärte gefunden werden muß.

Mit dieser Nadelstruktur im Einklang steht auch die Bruchform eines Zahnes, die einen Faserbruch ergibt, der auf eine Lage Einzelkristallnadeln parallel zur Oberfläche schließen läßt, wie Fr. W. Proell bemerkt hat.

Es bieibt somit das zusammenfassende Resultat, daß der polarisationsoptische, röntgenographische und physikalische (Ritzhärte und Bruchfläche) Befund ohne Widerspruch ergibt, daß die c-Achse des Apatits im Dentin parallel zur Oberfläche des Zahnes liegt und daß die Apatitkristalle des Dentins in Richtung der c-Achse eine besondere Länge aufweisen.

Zusammenfassung der Prüfungsergebnisse.

Es wurde durch röntgenographische Untersuchungen festgestellt, daß die anorganische Substanz im Dentin aus Apatit besteht.

Der Apatit im Dentin ist so gelagert, daß seine c-Achse parallel zur Zahnoberfläche liegt und daß die anderen Achsen keine Orientierung aufweisen.

Die Kristalle des Apatits im Zahn sind so gebaut, daß ihre Hauptlänge in Richtung der c-Achse liegt, es handelt sich um lange, dünne Stäbchen.

Diese Befunde stehen in Einklang und erweitern die Resultate der Untersuchungen über die Ritzhärte und die Richtung der Bruchflächen im Zahn und die polarisations-mikroskopischen Untersuchungen.

Zum Schluß ist es mir eine besondere Freude meinem Lehrer, Herrn Prof. Dr F. W. Proell, für die Anregung und Förderung dieser Arbeit, sowie Herrn Prof. Dr. M. v. Stackelberg und meinem Bruder, Dozenten Dr. habil. H. J. Antweiler, für die stete Hilfe und die zur Verfügung gestellten Apparaturen herzlichst zu danken. Ferner danke ich der physikalisch-chemischen Abteilung des chemischen Instituts der Universität Bonn und der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Überlassung der Apparate.

Verzeichnis der benutzten Veröffentlichungen.

Born, J: Untersuchungen menschlicher und tierischer Zähne mit Hilfe des Ritzverfahrens zur Feststellung ihrer Härte und ihres strukturellen Aufbaues. Inaug.-Diss. Bonn 1939.

Cape T. und Kitchin P.: Histologic Phenomena of Tooth Tissues as obeserved under polarized Ligth, with a Note on the Roentgen-Ray Spectra of Enamel and Dentin. J. amer. dent. Ass. 1939 pg 193—227.

Groß R: Die kristalline Struktur von Dentin und Zahnschmelz, Festschrift des Greifswalder zahnärztlichen Instituts. Berlin: H. Meußer 1926

Mark H: Die chemische Analyse mit Röntgenstrahlen I und II. aus „Physikalische Methoden der analytischen Chemie". Herausgegeben von W. Böttger Akademische Verlagsanstalt Leipzig 1939

Noray-Szabo St.: Z. Krystalloph. 1930 LXXV, 387.

Praeger W.: Die Röntgenoskopie Dtsch. Zahn-Md. Kieferheilk. 1935 II

Proell F. W.: Studien über die harten Zahnsubstanzen, Festschrift des Greifswalder Zahnärztlichen Instituts Berlin H. Meußer 1926

Proell F. W. und Dietl G: Polarisationsoptische Untersuchungen der Hartsubstanzen gesunder und kranker Zähne. Dtsch. Zahn-MJ. Kieferheilk. 1938

Siegmund H.: Aktuelle Fragen der allgemeinen Pathologie in ihrer Beziehung zur Zahnheilkunde. Z. B. Zahn-Md. Kieferheilk. 1936 I

Schmitt, Francis O. St. Louis: Die Erforschung der Feinstruktur tierischer Gewebe mit Hilfe der Röntgenstrahleninterferenz-Methoden. (Naturwiss. 1937, XXV. 40, 109.

Thewlis J. (Teddington, Middlesex): Über die Kristallorientierung im Zahnschmelz. Naturwiss. 1937, XXV; 42—43.

Lebenslauf.

Geboren bin ich, Peter Josef Antweiler als Sohn des Chemikers Dr. Peter Josef Antweiler, am 26. 12. 1908 in Köln. Nach vierjährigem Besuch der Volksschule in Oberkassel und Bonn, besuchte ich das staatliche Beethoven-Gymnasium zu Bonn und bestand dort Ostern 1929 das Abitur. Ich studierte Medizin und Zahnmedizin an der Universität Bonn.

Am 26. Mai 1936 bestand ich das zahnärztliche Staatsexamen mit „gut“ und erhielt gleichzeitig meine zahnärztliche Approbation. Anschließend war ich als Assistent in der Universitätsklinik für Mund- Zahn- und Kieferkrankheiten Bonn bis heute tätig.